

DESARROLLO DE UN PROGRAMA EN EXCEL PARA DISEÑAR PLACAS GUSSET. APLICACIÓN A UNA ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE ENERGÍA DE UFA-ESPE

DEVELOPMENT OF THE PROGRAM FOR DESIGNING PLATES GUSSET IN EXCEL. APPLICATION TO A STRUCTURE WITH SHEAR LINK BOZZO ENERGY DISSIPATORS.

Roberto Aguiar⁽¹⁾, Hugo Silva⁽²⁾ y Henry Coyago⁽¹⁾

**⁽¹⁾Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Av. Gral. Rumiñahui s/n. Valle de los Chillos, Sangolquí, Ecuador
P.O.BOX: 171-5-231B
rraguiar@espe.edu.ec**

**⁽²⁾HAUG S.A
Ingeniería Construcción y Montaje
<http://www.haug.com.pe>**

RESUMEN

En la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, se han diseñado dos estructuras con disipadores de energía Shear Link Bozzo, de la segunda generación, los mismos que van sobre contravientos Chevron. Las diagonales del contraviento son tipo "I", y la columna a la que llega es una columna tubular hueca.

En este artículo se presenta un programa desarrollado en Excel que permite diseñar la placa de apoyo Gusset entre la diagonal de acero tipo "I" y la columna de acero rectangular hueca. Para uso posterior el usuario debe introducir la geometría de la viga "I", de la columna tubular y la carga axial que se transmite al apoyo por las diagonales del contraviento.

Palabras Claves: Placas de apoyo Gusset, Disipadores Shear Link Bozzo.

SUMMARY

At the Army University ESPE, they have designed two structures with Shear Link Bozzo energy dissipators of second generation, the same as going on windbreak Chevron. The diagonals are of the type "I" and the column that arrives is a tubular column.

This article presents a program developed in Excel that allows you to design the Gusset plate between the diagonal of steel "I" and rectangular hollow steel column. The user must enter the geometry of the beam "I", the tubular column and axial load, which is transmitted to the support by the diagonals of windbreak.

Keywords: Plates Gusset , Energy Dissipators Shear Link Bozzo

1. INTRODUCCIÓN

En la figura 1, se presenta una panorámica de las nuevas construcciones de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, que están en construcción en el 2016 por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Ecuador. Estrictamente son 7 bloques estructurales, en 5 de ellos se están colocando aisladores sísmicos de triple péndulo de fricción FPT (Aguiar *et al.* 2016,1,2,3) y en 2 se colocarán disipadores de energía Shear Link Bozzo, SLB (Aguiar *et al.* 2016, 4,5,6).

El lugar donde aparece el sello de la Universidad en la figura 1, corresponde al Auditorio, que es uno de los Bloques Estructurales donde se colocarán disipadores de energía SLB y el Bloque que está a continuación es el de Circulación ya que es el vértice de una "V" que une a los otros bloques estructurales que tienen aisladores FPT. El Bloque de Circulación se identifica por el número 4 y el Auditorio por el 5; en estos dos Bloques se colocarán disipadores de energía SLB, sobre contravientos Chevron, cuyas placas de unión con las columnas de la estructura se estudiarán en este artículo. A estas se denominan placas Gusset.



Figura 1 Panorámica de las construcciones de la UFA-ESPE que se están ejecutando en el 2016. (Cortesía: Nelson Suárez, Administrador del Proyecto)

La cubierta del bloque estructural 4 es un domo conformado por una estructura metálica, mientras que el auditorio tiene en su parte central una cubierta inclinada, a dos aguas de acero.

En la tabla 1 se presenta la ubicación de los disipadores SLB en el bloque estructural 4, teniendo un total de 19 disipadores para este bloque, mientras que en la tabla 2 se muestra la ubicación de disipadores SLB pertenecientes al auditorio, teniendo un total de 14 disipadores para este bloque. (Aguir et al. 2016, 4,5,6)

Tabla 1 Ubicación de los disipadores SLB en el Bloque Estructural 4

Sentido	Pórtico	Nivel Inferior	Nivel Superior	Número de SLB
Transversal	20	0.04	4.94	3
	37	0.04	4.94	4
Longitudinal	N	0.04	4.94	3
		4.94	9.88	3
	K	0.04	4.94	3
		4.94	9.88	3

Tabla 2 Ubicación de los disipadores SLB en el Auditorio de UFA-ESPE

Sentido	Pórtico	Nivel Inferior	Nivel Superior	Número de SLB
Transversal	22	14.82	19.76	4
	28	-3.80	0.00	2
		0.00	4.94	2
Longitudinal	T'	0.00	4.94	3
	O'	0.00	4.94	3

En total se colocarán 33 disipadores de energía SLB40_3, cuya geometría se indica en la figura 2, sobre contravientos Chevron conformados por vigas de acero tipo “I” cuyas dimensiones se indicarán en el siguiente apartado.

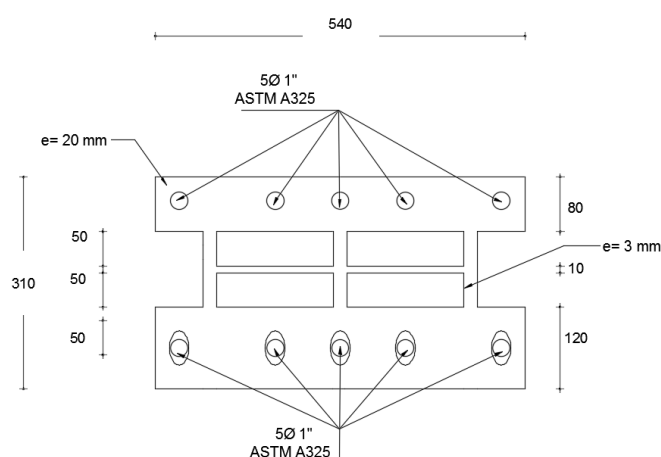


Figura 2 Disipadores de energía SLB40_3 a colocarse en Bloques Estructurales 4 y 5 de la UFA-ESPE

2. CONEXIÓN DIAGONAL-COLUMNA

Para la conexión de la diagonal de acero tipo I de 550x300x25x12 mm a la columna cuadrada hueca de acero de 550x550x20 mm, se han utilizado una conexión a la columna mediante una placa de acero A36 "Gusset" unida mediante soldadura E70 (electrodo 70), mientras que para la diagonal se ha realizado una conexión mediante pernos, ver figura 3.

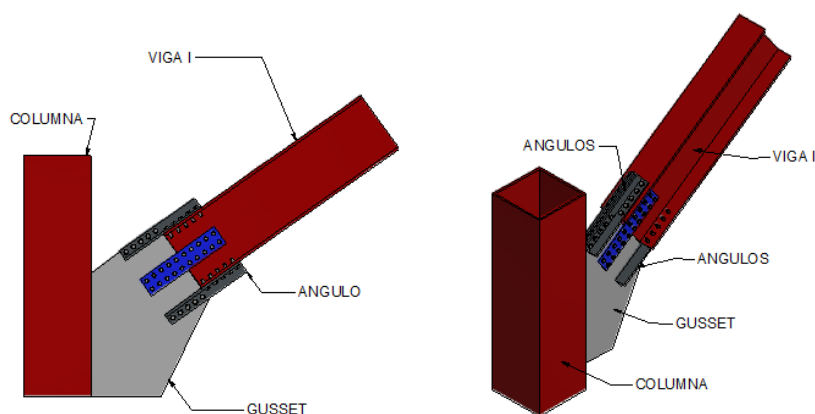


Figura 3 Elementos que conforman la conexión diagonal-columna. La diagonal es un perfil tipo "I" y la columna es tubular.

En la figura 4 a) se presentan los ángulos tipo "L" que son de acero A36 que van 2 sobre las alas superiores de la diagonal "I" y dos en la parte inferior de la diagonal "L" van unidos con pernos, se aprecia con diferentes colores que la diagonal y la placa Gusset que está separada 2 mm. En la misma figura se observa la placa conectora de espesor variable que une la placa Gusset con el alma del perfil "I".

En la figura 4 b) se presenta una vista en que se aprecia la placa conectora, la separación de 2 mm, los conectores con perfil tipo "L" donde en uno de sus lados van apernados al ala del perfil tipo "I" y en otro sector del mismo perfil los pernos van unidos a la placa Gusset, esta figura es complemento de la 4 a).

El objetivo de la figura 4 c) es ver que en el conector tipo "L" se van a colocar pernos horizontales para unirse con la placa Gusset y pernos verticales para unir el conector con el ala del perfil "I".

Finalmente en la figura 4 d) se presenta una vista de la variación del espesor de la placa conectora que va en la mitad del alma de la diagonal "I". La variación se da debido a que el espesor del alma es de 12 mm, y el espesor de la placa Gusset es de 19 mm.

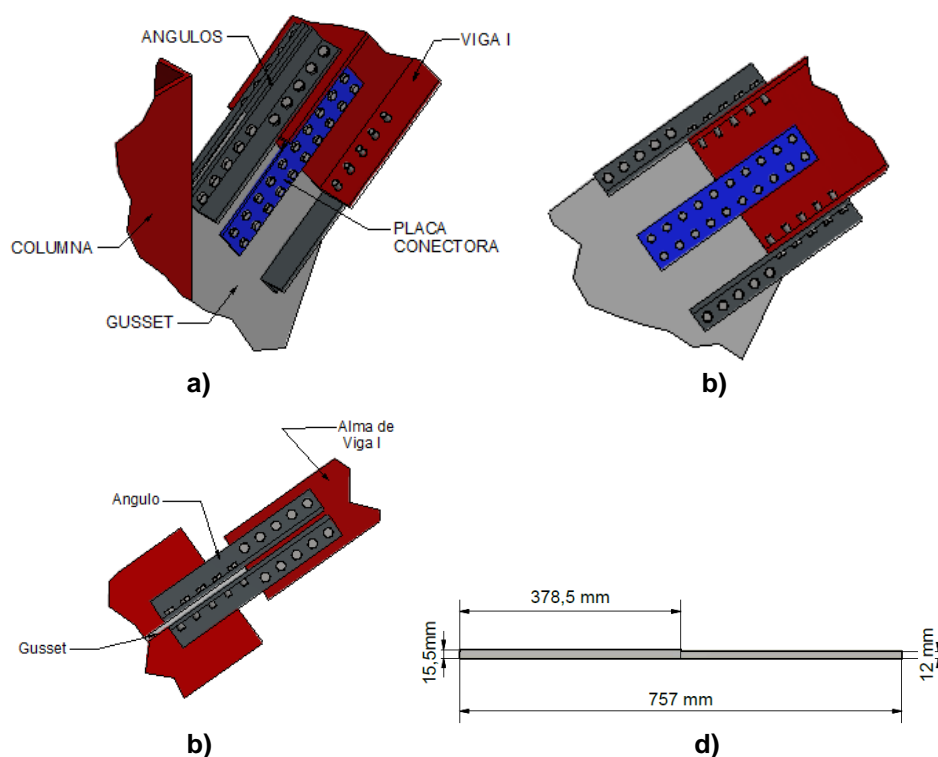


Figura 4 Elementos de conexión diagonal – placa Gusset: a) Detalle de ángulos conectores tipo “L” y placa conectora; b) Vista en planta de placa conectora y ángulos conectores; c) Vista de ángulo conector con pernos horizontales y verticales d) Placa conectora de sección variable.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el diseño de las conexiones diagonal – columna, se ha realizado el cálculo mediante el método LRFD (Load and Resistance Factor Design), también conocido como método de diseño por estados límites.

Un estado límite es la condición de un elemento estructural sometido a una carga, el mismo que se ve afectado dejando éste de ser seguro, perdiendo sus características iniciales de diseño. Los estados límites presentes en el método LRFD son:

- Estado límite de Falla;** que define la resistencia máxima de un elemento estructural sometido a cargas extremas; pudiendo presentarse: pérdida de equilibrio de la estructura o parte de ella.
- Estado límite de Servicio;** define el límite máximo en la que un elemento estructural cumple su función para la cual fue diseñado, como por ejemplo: deformaciones de algún elemento de la estructura.

3.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS

3.2.1 Dimensión nominal para perforaciones

De acuerdo a la norma AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.2, los tamaños máximos de perforaciones para pernos se presentan en la tabla 3, donde se indica el diámetro del perno; la dimensión estándar de la perforación que debe ser ligeramente mayor y el diámetro máximo que puede aceptarse de la perforación.

Tabla 3 Dimensión de agujero nominal en pulgadas.

Dimensiones Agujero		
Diámetro Perno (d) (pulg)	Estandar (D) (pulg)	Sobretamaño (D) (pulg)
1/2	9/16	5/8
5/8	11/16	13/16
3/4	13/16	15/16
7/8	15/16	1 1/16
1	1 1/16	1 1/4
> 1 1/8	d+1/16	d + 5/16

En la figura 5 se puede observar la holgura que proporciona la tabla 3 de acuerdo al diámetro del perno, donde D es el diámetro que la tabla nos proporciona y d es el diámetro del perno.

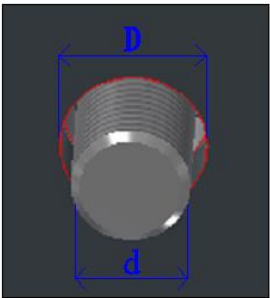


Figura 5 Tamaño de perforación de acuerdo al diámetro del perno estándar.

3.2.2 Requisitos de espaciamiento mínimo entre perforaciones

La distancia entre centros de perforaciones estándar, sobredimensionadas o ranuradas, no debe ser menor que 2 ⅔ veces del diámetro nominal, d, del conector; **la distancia ideal de diseño de acuerdo a la norma es de 3d.** (Norma AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.3)

En la figura 6 se encuentra el espaciamiento S entre perforaciones.

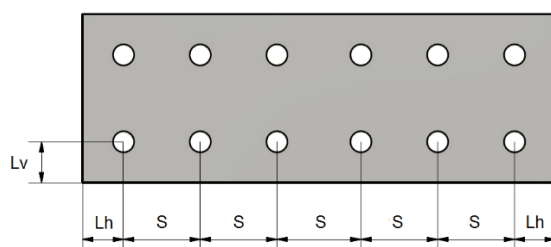


Figura 6. Espaciamiento entre perforaciones y espaciamento al borde

3.2.3 Requisitos de espaciamientos mínimos al borde

La distancia desde el centro de una perforación estándar hasta el borde de una parte conectada en cualquier dirección no debe ser menor que el valor especificado en la tabla 4. (Norma AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.4).

Tabla 4 Distancia mínima al borde en mm desde el centro del Agujero estándar hasta el borde de la parte conectada.

Diámetro Perno		D. mínima al borde
Pulg	mm	mm
1/2	12.7	19.1
5/8	15.9	22.2
3/4	19.1	25.4
7/8	22.2	28.6
1	25.4	31.8
1 1/8	28.6	38.1
1 1/4	31.8	41.3
> 1 1/4		1.25xd

En la figura 6 se encuentra el espaciamento mínimo al borde, cuya nomenclatura es Lh (Longitud al borde horizontal) y Lv (Longitud al borde vertical).

3.3 REQUISITOS CONEXIÓN DIAGONAL- GUSSET

3.3.1 Límite de esbeltez de la diagonal

Para miembros diseñados a tracción la relación de esbeltez no debe exceder 300 (AISC 360-10 Capítulo D, Sección D1)

$$\frac{KL}{r} < 300 \quad (1)$$

Donde k es el factor de longitud efectiva, L es la longitud del miembro a tracción y r es el radio de giro. Si no se cumple con la ecuación (1) se debe utilizar un perfil más grueso, que tenga mayor radio de giro.

3.3.2 Capacidad a Tracción

Se presenta el cálculo de la capacidad máxima a tracción de un elemento estructural, puede ser de la diagonal tipo "I", de la placa Gusset o de los conectores

La resistencia en tracción, ϕP_n , de elementos traccionados debe ser el **menor valor** obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia en tracción calculada en sección: bruta y neta.

- a) Para fluencias en tracción en **sección bruta**:

$$P_n = F_y * A_g \quad (2)$$

Donde F_y es tensión mínima de fluencia y A_g es área bruta del miembro (sin considerar los agujeros), para este caso ϕ es igual a 0.90.

- b) Para ruptura en tracción en la **sección neta**:

$$P_u = F_u * A_e \quad (3)$$

Donde F_u es tensión última mínima especificada y A_e es área neta efectiva (considerando los agujeros) del miembro, para este caso ϕ es igual a 0.75

3.3.3 Esbeltez del elemento

De acuerdo a la norma AISC 360-10 Capítulo E, Sección E2, la relación de esbeltez debe cumplir de acuerdo a la ecuación (4), donde L es la longitud no arriostrada del miembro y r es el radio de giro.

$$\frac{KL}{r} < 200 \quad (4)$$

3.3.4 Resistencia de compresión nominal

Ahora, se presenta el cálculo de la capacidad máxima a compresión de los elementos estructurales, sean estos: Diagonal tipo "I", placa Gusset, Conectores tipo "L"

La norma AISC 360-10 Capítulo E, Sección E3, indica que la resistencia de compresión nominal, P_n , debe ser determinada basada en el estado límite de pandeo por flexión:

$$P_n = F_{cr} * A_g \quad (5)$$

La tensión de pandeo por flexión, se determina de acuerdo:

$$\text{a) Cuando } \frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL_g}{r}\right)^2} \quad (6)$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \quad (7)$$

$$\text{b) Cuando } \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (8)$$

3.4 REQUISITOS DE DISEÑO PARA PERNOS

3.4.1 Resistencia de tracción y compresión de pernos y parte enroscada

La resistencia de diseño de tracción y corte, ϕR_n , de un perno de alta resistencia, debe ser determinado de acuerdo a los límites de ruptura mediante la ecuación (9), donde F_n es la tensión de tracción nominal y A_b es el área bruta del perno o parte roscada. (Norma AISC 360-10 Capítulo J, Sección J6)

$$R_n = F_n * A_b \quad (9)$$

3.4.2 Resistencia de Aplastamiento de perforaciones de pernos

La resistencia al aplastamiento depende de la separación entre tornillos y de sus dimensiones a sus bordes, la resistencia de aplastamiento ϕR_n , para pernos con perforaciones estándar, sobre medidas y de ranura corta, independiente de la dirección de carga corresponde a la ecuación (10). (AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.10)

$$R_n = 1.2 l_c t F_u \leq d t F_u \quad (10)$$

Donde F_u es la resistencia última mínima especificada del material conectado, t es el espesor del material conectado, l_c es la distancia libre entre el borde de la perforación y el borde del material y d es el diámetro nominal del perno.

Para el diseño LRFD se tiene ϕ es igual a 0.75.

3.4.3 Resistencia de bloque de corte

Al realizarse perforaciones en los extremos en un miembro de acero, puede producirse el desprendimiento de un segmento, al que se le denomina bloque de corte el cual se lo debe controlar mediante la ecuación (11) de acuerdo a la norma AISC 360-10 Capítulo J, Sección J4.3 y J4.5.

$$R_n = 0.6A_{nv}F_u + U_{bs}F_uA_{nt} \leq 0.6A_{gv}F_y + U_{bs}F_uA_{nt} \quad (11)$$

Donde A_{nt} es el área neta solicitada a tracción y A_{nv} es el área neta solicitada a corte.

Cuando la tensión de tracción es uniforme, $U_{bs} = 1$; pero si la tensión de tracción no es uniforme, $U_{bs} = 0.5$.

En la figura 7 se puede observar el fenómeno de bloque de corte, en la cual la superficie ab se encuentra sometida a cortante mientras que la superficie bc está sometida a tracción; el área sombreada representa la zona donde se puede producir falla por bloque de corte.

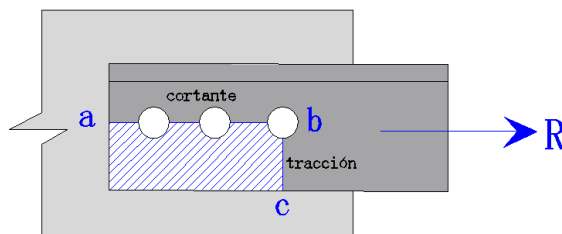


Figura 7. Bloque de corte en un elemento a tracción

La figura 8 presenta dos tipos de falla por bloque de corte, en figura a se presenta la falla al borde de la placa y en la figura b presenta falla en el espaciamiento entre pernos; es importante que la separación a borde y entre perforaciones cumpla con los requisitos mínimos de la norma AISC 360-10, puesto que esto influye en la resistencia de bloque de corte del elemento.

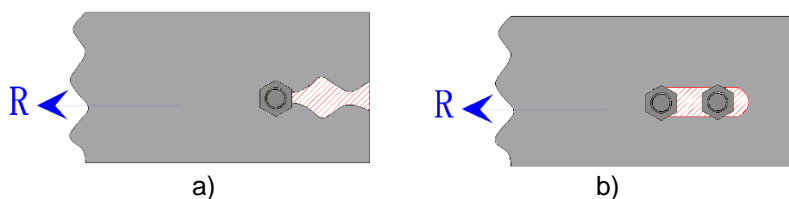


Figura 8. Falla de elementos por bloque de corte a) Desgarramiento de perforación b) Desgarramiento de 2 perforaciones cercanas.

3.5 DISEÑO DE PLACA GUSSET

Se debe colocar una placa de conexión de la diagonal – viga columna, ha este tipo de conexiones se las llama “Gusset”, se considera una conexión de tipo **articulado y empotrado**, debido a que la conexión de la diagonal – gusset tiene un espacio libre mientras que la parte de la columna y viga están soldados mediante suelda E70.

Wyss en el año 1923 hizo uno de los mayores trabajos experimentales sobre este tema, el observó que los mayores esfuerzo durante cargas axiales se producían en una franja de la placa con un ancho variable a 30° desde la unión con la diagonal (sección sombreada en figura 9). Esto fue confirmado en varios ensayos, especialmente en los realizados por Whitmore, quien dibujo las trayectorias de los esfuerzos producidos sobre las placas, a esta franja que varía con un ángulo de 30° se lo conoce como **ancho Whitmore** (Dowswell, 2011), Kotulka (2007).

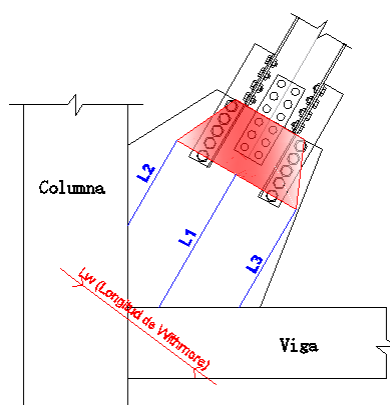


Figura 9 Placa Gusset, y ancho efectivo Whitmore

Entonces ya conociendo el ancho efectivo de las placas Gusset (Ancho Whitmore), para diseñarlas se procede con las fórmulas para tensión y compresión por solo fuerzas axiales, en este caso se usa las dadas por el código de acero AISC 360 (AISC-360, 2010).

- **Comprobación de compresión en la sección de Whitmore**

La longitud necesaria para la resistencia al pandeo se calcula en base a la ecuación (12), se puede apreciar en la figura 9 las distancias necesarias para el cálculo.

$$L_g = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} \quad (12)$$

Otra opción es considerar L_g igual a la distancia siguiendo el eje de la diagonal en la placa Gusset.

Para determinar la resistencia a compresión de acuerdo al método LRFD, se aplica las ecuaciones (13),(14) y (15, tomando en cuenta $k = 1/2$.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL_g}{r}\right)^2} \quad (13)$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \quad (14)$$

$$\phi R_n = F_{cr} * A_w \quad \therefore \quad \phi = 0.9 \quad (15)$$

Donde F_e es la resistencia elástica, F_{cr} es el esfuerzo a compresión y A_w es el área en la sección de Whitmore, que es igual a la longitud L_w (ver figura 9) por el espesor de la placa Gusset t_w

Se debe comprobar que la resistencia a compresión de placa gusset sea mayor a la resistencia a la compresión de capacidad de la diagonal; caso contrario se deberá rediseñar.

- **Comprobación de tensión en la sección de Whitmore**

La tensión se comprobará mediante las ecuaciones

$$A_w = L_w t_p \quad (16)$$

$$\phi R_n = \phi F_y A_w \quad (17)$$

Donde A_w es el área de la sección de la placa Gusset; L_w es el ancho de la sección Whitmore; t_p es el espesor del material conectado; F_y es el mínimo esfuerzo de fluencia especificado; ϕ factor de diseño el cual es 0.9 para diseño LRFD; ϕR_n es la fuerza de diseño.

- **Unión de la placa gusset a la viga y columna**

Para el diseño de la conexión soldada entre las placas Gusset y las vigas/columnas se utilizará el Método de Fuerzas Uniformes (MFU), en la cual se debe determinar ya sea la altura o la longitud de la placa, para posterior mediante relaciones geométricas obtener la dimensión faltante.

Para la distribución de la fuerza de la diagonal, se muestra en los diagramas de cuerpo libre de las figuras 10 a) y 10 b), donde se ha tomado como punto de

trabajo w_p , siendo este la intersección de las líneas centrales de la viga, columna y diagonal.

Donde α es la distancia desde la cara de la columna al centroide CG de la placa Gusset para la conexión de la viga; β es la distancia desde la cara de la viga al centroide de la placa Gusset; e_2 es la profundidad media de la viga, e_1 es la profundidad media de la columna y θ es el ángulo de conexión de la diagonal.

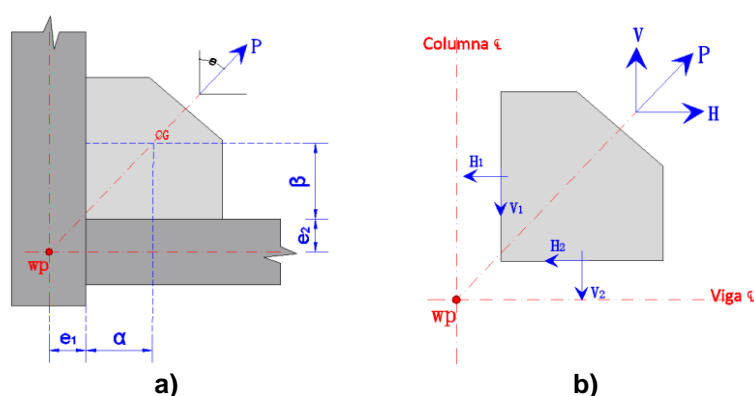


Figura 10. a) Parámetros del método de fuerzas tomando en cuenta como punto de trabajo w_p en la intersección de los ejes de la columna, viga y diagonal, b) Diagrama de cuerpo libre.

De la figura 10 b) se tiene del equilibrio de fuerzas:

$$H = H_1 + H_2 \quad (18)$$

$$V = V_1 + V_2 \quad (19)$$

Para la distribución de la fuerza que se muestra en los diagramas de cuerpo libre de las figuras 10 b) permanezca libre de momentos en los interfaces de conexión, la siguiente expresión debe cumplirse:

$$\alpha - \beta \tan \theta = e_2 * \tan \theta - e_1 \quad (20)$$

Dado que las variables de la derecha de la ecuación (20) están todos definidos por los miembros conectados (viga, columna y diagonal), el diseñador puede seleccionar valores de α y β para los que la ecuación sea verdadera.

Una vez que α y β han sido determinados, se hallan las fuerzas H_1, V_1, H_2, V_2 con el siguiente formulario

$$r = \sqrt{(\alpha + e_1)^2 + (\beta + e_2)^2} \quad (21)$$

$$H_1 = e_1 \frac{P}{r} \quad (22)$$

$$H_2 = \alpha \frac{P}{r} \quad (23)$$

$$V_1 = \beta \frac{P}{r} \quad (24)$$

$$V_2 = e_2 \frac{P}{r} \quad (25)$$

Donde H_2 , es la fuerza a corte requerida en la conexión de la viga y la placa Gusset, con la que el elemento puede ser diseñado; H_1 , es la fuerza de corte que se transmite a la columna y la placa Gusset; V_2 , es la fuerza a corte que se transmite a la viga y la placa Gusset; V_1 , es la fuerza a corte requerida en la conexión de la columna y la placa Gusset; P , es la fuerza a tensión o compresión de la diagonal.

El capítulo 13 del Steel Construction Manual (2005) presenta un método simplificado para el cálculo de las fuerzas, donde **se modifica el punto de trabajo wp como se muestra en la figura 11, wp está en la esquina de la placa Gusset.**

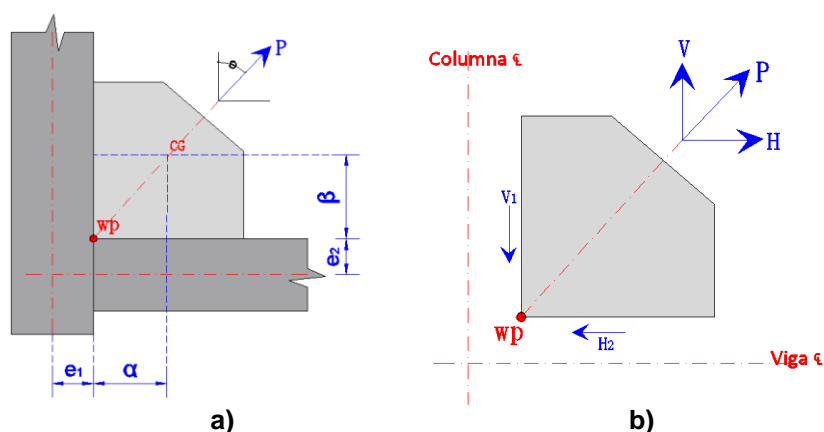


Figura 11 a) Parámetros del método de fuerzas tomando en cuenta como punto de trabajo wp la esquina de la placa Gusset; b) Diagrama de cuerpo libre.

Con este supuesto e_1 y e_2 son 0, y haciendo equilibrio de fuerzas se tiene

$$H_1 = 0 \quad (26)$$

$$H = H_2 = \alpha \frac{P}{r} = P * \sin\theta \quad (27)$$

$$V = V_1 = \beta \frac{P}{r} = P * \cos\theta \quad (28)$$

$$V_2 = 0 \quad (29)$$

- **Diseño de soldadura**

El tamaño mínimo de soldadura debe cumplirse de acuerdo al espesor de la placa de acuerdo a la tabla 5. (Norma AISC 360-10 Capítulo J, Sección J2.4).

Tabla 5 Tamaño mínimo de soldadura de filete.

Espesor de parte unida (mm)	Tamaño mínimo de soldadura de filete (mm)
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Mayor que 19	8

El espesor efectivo de garganta de soldadura se determina de acuerdo a la ecuación (30), donde D es el espesor efectivo de soldadura y w es el filete de soldadura, teniendo en cuenta que en los remates no deben ser menor que 2 veces el tamaño de la soldadura.

$$D = 0.707 * w \quad (30)$$

La resistencia de juntas soldadas se determina de acuerdo a la ecuación (31), teniendo como condición de diseño que sea mayor a la resistencia de la parte soldada.

$$\phi R_n = F_{nw} * A_{we} \quad \therefore \quad \phi = 0.75 \quad (31)$$

$$F_{nw} = 0.60 * F_{EXX} * (1 + 0.5 * \text{seno}^{1.5} \theta) \quad (32)$$

Donde F_{nw} es resistencia nominal de la soldadura, F_{EXX} es la resistencia de clasificación del metal de rellano para electrodo E70XX es 4920 kg/cm^2 , θ es el ángulo de carga medido desde el eje longitudinal de la soldadura y A_{we} es el área efectiva de la soldadura que resulta del producto del espesor efectivo y de la longitud de la soldadura.

Esta fuerza nominal ϕR_n tiene que ser mayor a las fuerzas que actúan en la interfase entre la placa y los elementos estructuras (viga y columna) denominados V_1, H_2 . Si no cumple se debe incrementar las dimensiones de la placa Gusset para que la longitud de la soldadura sea mayor.

4. PROGRAMA PARA DISEÑO DE CONEXIÓN A TRACCIÓN DIAGONAL- COLUMNA EN EXCEL

Se ha elaborado un programa en Excel para el cálculo de conexión diagonal columna, en el cual se consideró lo expuesto anteriormente en el marco teórico del presente artículo, siguiendo el programa desarrollado por el segundo de los autores

de éste artículo. (Silva, 2016). El programa que se presenta es más amigable por la entrada de datos y con el marco teórico desarrollado en este artículo, ayuda a entender mejor su uso.

A continuación se presentan los pasos a seguir para el diseño de la conexión:

4.1 Definir los elementos: Perfiles, pernos y soldadura

Se debe ingresar las dimensiones del perfil tipo “I” y del perfil “L” que son los elementos de conexión (ver figuras 3 y 4). En la figura 12 se Se ingresaran las características del material, correspondientes al tipo de Acero y tipo de pernos.



Figura 12. Geometría de perfiles y características del material

La diagonal es un perfil “I” de 550x300x25x12 mm y el material del perfil conector angular es tipo “L” de 4x4x3/4 es A36 con valores $F_y = 36\text{ ksi}$; $F_u = 58\text{ ksi}$. Las placas de refuerzo del alma son del mismo material A36.

Los pernos a utilizar en las alas de la viga “I” son A325-N con resistencias nominales a tracción y corte. $F_{nt} = 90\text{ ksi}$; $F_{nv} = 54\text{ ksi}$. El diámetro del perno es 1 pulgadas.

Para el alma los pernos son del mismo material que los pernos de las alas pero son más pequeños, su diámetro es de 0.75 pulgadas.

El electrodo a utilizarse en la suelda de la placa Gusset a la columna y viga es E70XX con $F_u = 70\text{ ksi}$.

PERNOS AL ALA		PERNOS AL ALMA	
Material	A325-N	Material	A325-N
Fnt =	90 ksi	Fnt =	90 ksi
Fnv =	54 ksi	Fnv =	54 ksi
Ø =	0.75	Ø =	0.75
db =	Ø1 pulg	db =	Ø 3/4 pulg
Ab =	0.7854 pulg2	Ab =	0.4418 pulg2
rnv =	31.8 kips	rnv =	17.9 kips
rnt =	53.0 kips	rnt =	29.8 kips
Tipo agujero	SH	Tipo agujero	SH
holgura =	1/16 pulg	holgura =	1/16 pulg
PLACAS		ELECTRODO	
Material	A36	Material	E70XX
Fy =	36 ksi	Fu =	70 ksi
Fu =	58 ksi		

Figura 13. Características de pernos, placas y electrodos

4.2 Plantear una solución: Se debe ingresar el número de pernos, placas de conexión, verificar distancias libres entre pernos y bordes.

Para el lado del alma de la viga se tiene que la distancia al borde longitudinal y transversal de perforaciones del perno es de 40 mm, la separación entre perforaciones de pernos es de 75 mm, se empleó 10 pernos divididos en dos filas, los cuales están separados 139.7 mm.

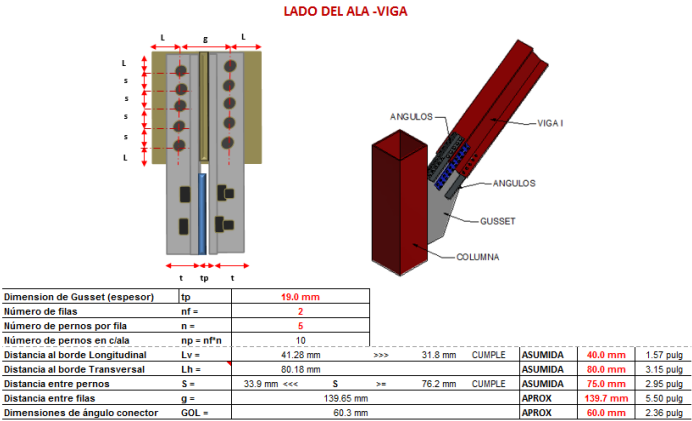


Figura 14. Predimensionamiento de ala de la viga I

En el alma de la viga I, se tiene que la distancia al borde longitudinal y transversal de perforaciones del perno es de 40mm, la separación entre perforaciones de pernos es de 75 mm, se empleó 10 pernos divididos en dos filas, los cuales están separados 85 mm.

Se utilizó 2 placas de unión viga – gusset a cada cara del alma de la viga, las cuales tienen un espesor de 12 mm, además se ha dejado una separación entre la diagonal y gusset de 2 mm.

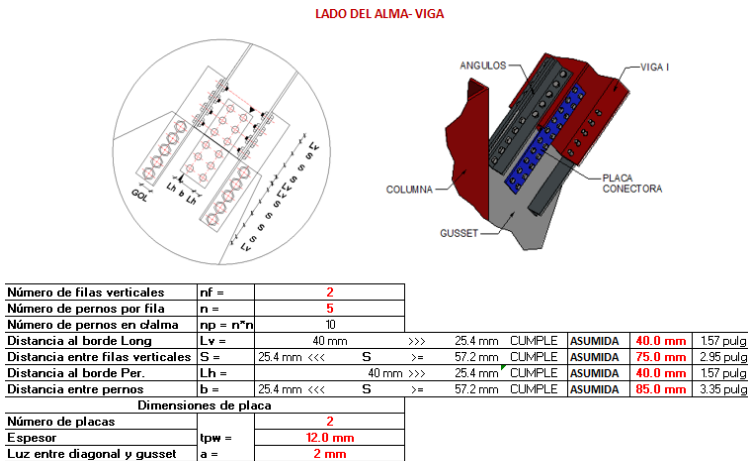


Figura 15. Predimensionamiento de alma de la viga I

Para el ángulo conector se tiene una separación al borde longitudinal y transversal de 40 mm, separación entre pernos de 75 mm con 5 pernos distribuidos en una fila en el alma de la viga y de la misma manera distribuidos en la placa gusset en la cara opuesta del perfil L.

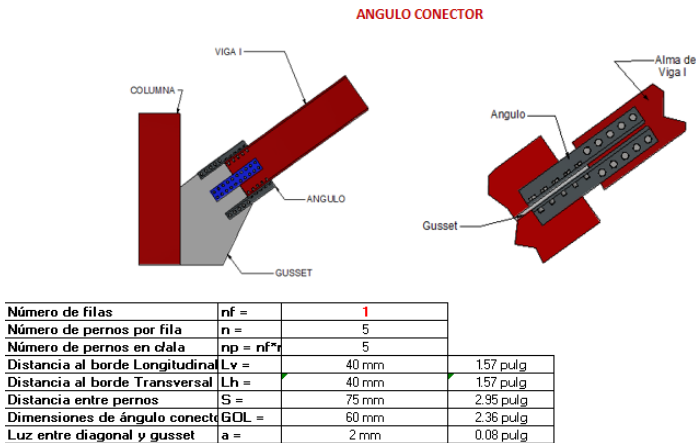


Figura 16. Predimensionamiento del ángulo conector L de acero.

4.3 Verificación de fuerzas de la diagonal: Se debe ingresar las fuerzas a tensión y compresión de las diagonales, las cuales se obtienen del análisis estático plano de los pórticos de la estructura.

Se han ingresado las fuerzas pertenecientes al pórtico 37 del Bloque estructural 4 las mismas que se presentan en la figura 17. (Aguiar *et al.* 2016,4), NEC 2015).

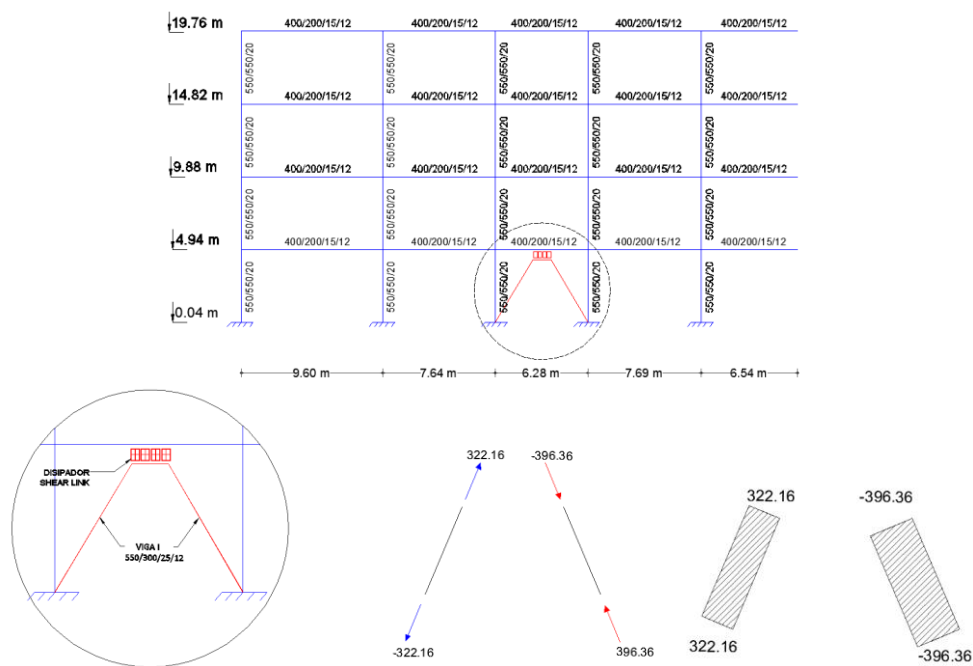


Figura 17 Geometría de Pórtico 37 y cargas axiales en diagonales.

Las cargas obtenidas del análisis estático plano se compara con las cargas que se obtienen del perfil, la demanda debe ser menor a la capacidad del perfil para que el diseño sea óptimo.

En la figura 18 se observa que la demanda a tracción y compresión de la diagonal es menor a la capacidad del perfil I 550x300x25x12 mm.

2. CARGAS DE DISEÑO			
DEMANDA		CAPACIDAD	
Resistencia a tracción	322.00 T	Resistencia a tracción	395.983 T
Resistencia a compresión	396.00 T	Resistencia a compresión	476.931 T
			CUMPLE
			CUMPLE

Figura 18 Verificación de demanda de la diagonal con la capacidad el perfil.

Una vez verificado que las cargas de demanda son menores a las cargas de capacidad del perfil se debe distribuir las cargas tanto para el alma como para el ala, pues estas fuerzas serán utilizadas para realizar el diseño de la placa que llega al alma y a los ángulos conectores que unen al ala de la viga con la placa Gusset.

En la figura 19 se presenta el cálculo en Excel de la distribución de fuerzas, con un valor de 141.42 T para el ala de la viga y 113.13 T para el alma.

Porcentaje de carga tracción	T% =	75 %	ductil
Área de ala	Af = bf x tf	11.63 pulg ²	
	%flange := $\frac{Af}{At} \cdot 100\%$	35.71 %	
Área de alma	Aw = Ag - 2 Af	9.30 pulg ²	
	%web := $\frac{Aw}{At} \cdot 100\%$	28.57 %	
Factor de sobresistencia	Ry =	1	No sísmico
Tracción en área bruta	Tg = Ry Fy Ag T%	872.993 kips	<> 395.983 T
Distribución de cargas			
Tensión ó compresión en ala	T ó C = %flange Tg	311.783 kips	<> 141.423 T
Tracción en el alma	T = %web Tg	249.426 kips	<> 113.138 T

Figura 19 Distribución de cargas al alma y ala de la viga I.

4.4 Verificación de parámetros de diseño en el ala de la viga

Se tiene una capacidad total de pernos de 318.1 kips, este valor es mayor a la resistencia a compresión del ala, cumpliendo de esta manera la resistencia al cortante de pernos en el ala.

4. Verificación de la Resistencia al cortante de pernos en ala			
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.6)			
Carga tracción	T ó C =	311.783 kips	
Diámetro de agujeros (estandar)	dm = db +1/16	1.0625 pulg	
Planos de corte	pc =	1	
Distancia al borde Per. Exterior		80.0 mm	
Distancia al borde Per. Interior		40.0 mm	
Capacidad total de pernos	np*tv*pc =	318.1 kips	>>> 311.8 kips CUMPLE

Figura 20 Verificación de la resistencia al cortante de pernos en ala.

En la figura 21 se presenta la verificación de la resistencia al aplastamiento y al desgarramiento en el ala de la viga I, se verifica entre pernos y en el borde; la resistencia obtenida debe ser menor a la resistencia a tensión o compresión del ala que se obtuvo de la distribución de cargas.

5. Verificación de la resistencia al Aplastamiento y al Desgarramiento permisible en ala			
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.10)			
	Ø =	0.75	
EN EL BORDE	Pc =Lv · 0.5*(db+1/16) ron =min(1.2*Pc*tfFu, 2.4*db*tfFu)	1.04 pulg 71.49 kips	
ENTRE PERNOS	Pc =S · 1*(db+1/16) ron =min(1.2*Pc*tfFu, 2.4*db*tfFu)	1.89 pulg 129.49 kips	
	Ø Rn =np · Min(Ø ron , Ø ron)	536.16 kips >>> 311.8 kips	CUMPLE

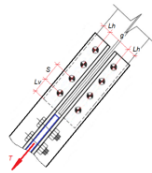


Figura 21 Verificación de la resistencia al aplastamiento y al desgarramiento en el ala.

Se ha calculado la carga permisible a bloque de corte teniendo en cuenta el área a cortante y a tracción, obteniendo una carga de 651.08 kips siendo mayor a la resistencia a tensión del ala que se obtuvo de la distribución de cargas.

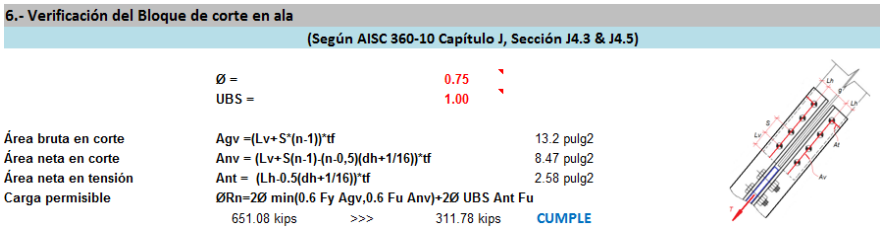


Figura 22 Verificación al bloque de corte en el ala

4.5 Verificación de parámetros de diseño del ángulo conector

En el ala de la viga intervienen los ángulos de acero los cuales lo conectarán con la placa gusset, por esta razón se debe verificar: resistencia al cortante de pernos, bloque de corte, resistencia al aplastamiento y al desgarramiento.

La figura 23 presenta la verificación de pandeo, donde la fuerza a tensión o compresión que se tiene en el ángulo conector es la fuerza obtenida de la distribución de cargas en el ala dividida para dos, pues se tienen dos perfiles tipo “L” unidos al ala.

Con esta fuerza se obtiene un esfuerzo permisible del elemento el cual debe ser mayor a la fuerza de capacidad del ala.

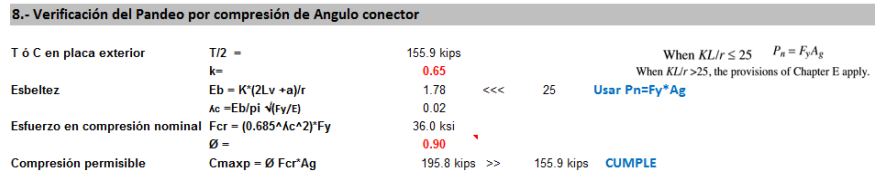


Figura 23 Verificación del pandeo por compresión del ángulo conector

También se debe verificar la resistencia a tracción del ángulo conector que se presenta en la figura 24, donde se obtuvo un valor de 380.2 kips, siendo mayor al valor a la capacidad que tiene la viga en el ala.

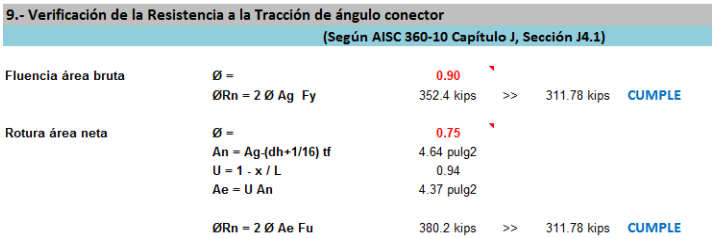


Figura 24 Verificación del pandeo por compresión del ángulo conector

La verificación de la resistencia al aplastamiento y al desgarramiento del ángulo conector se realiza de acuerdo al apartado 3.4.2 del presente artículo, esta resistencia obtenida debe ser mayor a la resistencia por compresión o tensión en el ala de la viga, tal como se presenta en la figura 25.

10.- Verificación de la resistencia al Aplastamiento y al Desgarramiento de ángulo conector			
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.10)			
BORDE	$\phi_v =$	0.75	
	$P_c = L_v \cdot 0.5 \cdot (d_b + 1/16)$	1.04 pulg	
	$ron = \min(1.2 P_c \text{ tf } F_u, 2.4 d_b \text{ tf } F_u)$	54.47 kips	
SEPARACION ϕ	$P_c = S \cdot (d_b + 1/16)$	1.89 pulg	
	$ron = \min(1.2 L_c \text{ tf } F_u, 2.4 d_b \text{ tf } F_u)$	98.67 kips	
	$\phi_v R_n = 2 n_f \phi_v ron + 2 n_f (n - 1) \phi_v ron$		
	740.04 kips >>> 311.78 kips	CUMPLE	

Figura 25 Verificación de la resistencia al aplastamiento y desgarramiento del ángulo conector

La resistencia de bloque cortante se la realiza en la base al apartado 3.4.3, donde la resistencia del perfil L al bloque de corte debe ser mayor a la del ala de la figa I.

En la figura 26 se presenta el valor de carga permisible de 398.44 kips, cumpliendo con la condición de diseño para bloque de corte.

11. Verificación del Bloque cortante en ángulo conector en ala			
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J4.3)			
$\phi =$	$UBS =$	0.75	
		1.00	
Área bruta en corte	$Ag_v = (L_v + S \cdot (n - 1)) \cdot t_f$	10.0 pulg ²	
Área neta en corte	$An_v = (L_v + S \cdot (n - 1) \cdot (n - 0.5) \cdot (d_h + 1/16)) \cdot t_f$	6.45 pulg ²	
Área neta en tensión	$Ant = (L_h - 0.5 \cdot (d_h + 1/16)) \cdot t_f$	0.81 pulg ²	
Carga permisible	$\phi R_n = 2 \phi \min(0.6 F_y Ag_v, 0.6 F_u An_v) + 2 \phi UBS Ant F_u$		
	395.44 kips >>> 311.8 kips	CUMPLE	

Figura 26 Verificación del bloque cortante del ángulo conector

4.6 Verificación de parámetros de diseño en el alma de la viga

De mismo modo se debe verificar todos los parámetros en el alma de la viga.

Para determinar la capacidad total de los pernos resulta del producto entre la resistencia del perno a compresión y el número de pernos que se colocará en el alma de la viga.

La capacidad total de pernos tiene un valor de 357.8 kips, la misma que es mayor a la capacidad de compresión que tiene la viga I en el alma, cumpliendo así la condición para diseño de los pernos a cortante.

12.- Verificación de la Resistencia al cortante de pernos en alma			
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.6)			
carga de tracción	T =	249.4 kips	
Planos de corte	pc =	2	
Capacidad total de pernos	$np \cdot t_v \cdot pc =$	357.8 kips >>> 249.4 kips	CUMPLE

Figura 27 Verificación de la resistencia al corte de pernos en el alma de la viga I

La verificación de la resistencia al aplastamiento y al desgarramiento en el alma se la realiza entre pernos y en el borde, donde deberá ser mayor a la fuerza a compresión del alma de la viga, tal como se presenta en la figura 28.

13.- Verificación de la resistencia al Aplastamiento y al Desgarramiento en alma				
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.10)				
	$\phi =$		0.75	
EN EL BORDE	$P_c = L_v \cdot 0.5 \cdot (d_b + 1/16)$		1.17 pulg	
	$r_{on} = \min(1.2 P_c \text{ tñ Fu} , 2.4 d_b \text{ tñ Fu})$		38.42 kips	
ENTRE PERNOS	$P_c = S \cdot (d_b + 1/16)$		2.14 pulg	
	$r_{on} = \min(1.2 P_c \text{ tñ Fu} , 2.4 d_b \text{ tñ Fu})$		49.32 kips	
	$\phi R_n = n f_n \cdot \text{Min}(\phi v r_{on} , \phi v r_{on})$		288.18 kips >>>	249.4 kips CUMPLE

Figura 28 Verificación de la resistencia al aplastamiento y desgarramiento del alma de la viga I

La figura 29 presenta la verificación del bloque de cortante en el alma de la viga; obteniendo una carga de 277.61 kips siendo mayor a la carga de tensión obtenida de la distribución de cargas, cumpliendo de esta forma la condición de diseño.

14. Verificación del Bloque cortante en alma				
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J4.3)				
Placa de Refuerzo alma	$t_{ref} =$		0 mm	
Cordón de soldadura	$w =$		0 mm	
Área gruesa de ala (+ refuerzo)	$t_u' = t_u + 2 t_{ref}$		0.47 pulg	
	$\phi =$		0.75	
	$U_{BS} =$		1.00	
Área bruta en corte	$A_{gv} = 2(L_v + S(n_f - 1)) \cdot t_u'$		4.28 pulg2	
Área neta en corte	$A_{nv} = 2(L_v + S(n_f - 1) \cdot (n_f - 0.5)(d_h + 1/16)) \cdot t_u'$		3.04 pulg2	
Área neta en tensión	$A_{nt} = (b(n - 1) - (n - 1)(d_h + 1/16)) \cdot t_u'$		4.79 pulg2	
Carga permisible	$\phi R_n = \phi \min(0.6 F_y A_{gv}, F_u A_{nv}) + \phi U_{BS} A_{nt} F_u$		277.61 kips >>>	249.4 kips CUMPLE

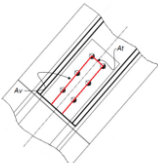


Figura 29 Verificación del bloque cortante en al ala de la viga

4.7 Verificación de parámetros de diseño de placas conectoras

Una vez verificado que se cumplan todos los parámetros de diseño en el alma de la viga, se debe diseñar las placas conectoras que une el alma de la viga con la placa gusset.

Se verifica que el ancho de la placa no sobrepase la dimensión del espacio libre del alma y mediante el pre dimensionamiento que se dio inicialmente a la placa se calcula la resistencia ϕR_n , la cual debe ser menor a la resistencia de tensión del alma de la viga, si esta condición no se cumple se debe cambiar el predimensionamiento de las placas.

La figura 30 presenta la resistencia al aplastamiento y desgarramiento donde se cumple la condición de diseño.

15.- Verificación de la resistencia al Aplastamiento y al Desgarramiento de Placas en alma					
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J3.10)					
Ancho	$L = 2 \cdot L_h + b \cdot (n_f - 1)$	165 mm	<<<	475 mm	CUMPLE
Altura	$H = 2 \cdot L_h + b \cdot (n - 1)$	380 mm			
EN EL BORDE	$\phi =$	0.75			
	$P_c = L_v \cdot 0.5 \cdot (d_b + 1/16)$	1.17 pulg			
	$R_{nh} = \min(1.2 P_c \text{ tpw } F_u, 2.4 \cdot d_b \cdot \text{tpw} \cdot F_u)$	38.42 kips			
ENTRE PERNOS	$P_c = S \cdot (d_b + 1/16)$	2.14 pulg			
	$R_{ns} = \min(1.2 L_c \text{ tpw } F_u, 2.4 d_b \text{ tpw } F_u)$	36.99 kips			
	$\phi R_n = 2 \cdot n \cdot \phi R_{nh} + 2 \cdot n \cdot (n_f - 1) \cdot \phi R_{ns}$	565.62 kips	>>>	249.4 kips	CUMPLE

Figura 30 Verificación de la resistencia al aplastamiento y al desgarramiento de placas conectoras al alma de la viga.

Se presenta el cálculo de la resistencia a tracción de la placa en la figura 31, el cálculo se realizó en base al área neta y bruta de la sección; teniendo una resistencia de 447.9 kips siento mayor a la resistencia a tracción que se tiene en el alma de la viga, cumpliendo así la condición de diseño.

16.- Verificación de la Resistencia a la Tracción de Placas en alma					
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J4.1)					
Fluencia área bruta	$\phi =$	0.90			
	$A_g = H \cdot \text{tpw}$	7.07 pulg2			
	$\phi R_n = 2 A_g \cdot (\phi F_y)$	458.0 kips	>>	249.4 kips	CUMPLE
Rotura área neta	$\phi =$	0.75			
	$A_{n1} = A_g \cdot (d_b + 1/16) \cdot n \cdot \text{tpw}$	5.15 pulg2			
	$A_{n2} = 0.85 A_g$	6.01 pulg2			
	$A_e = \min(A_{n1}, A_{n2})$	5.15 pulg2			
	$\phi R_n = 2 A_e \cdot (\phi F_u)$	447.9 kips	>>	249.4 kips	CUMPLE

Figura 31 Verificación de la Resistencia a la tracción de placas en el alma de la viga I

La carga permisible al bloque cortante de la placa se presenta en la figura 32 la misma que se calculó con las fórmulas que se presentaron en el apartado 3.4.3 del presente artículo, está carga deberá ser mayor que la carga a compresión de cortante en el alma de la viga.

17. Verificación del Bloque cortante de Placas en alma					
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J4.3)					
$\phi =$		0.75			
UBS =		1.00			
Área bruta en corte	$A_{gv} = 2 S(n_f - 1) \cdot \text{tpw}$	2.79 pulg2			
Área neta en corte	$A_{nv} = 2(S(n_f - 1) \cdot (n_f - 0.5) \cdot (d_h + 1/16)) \cdot \text{tpw}$	1.64 pulg2			
Área neta en tensión	$A_{nt} = (H - n \cdot (d_h + 1/16)) \cdot \text{tpw}$	5.15 pulg2			
Carga permisible	$\phi R_n = 2 \phi \min(0.6 F_y A_{gv}, 0.6 F_u A_{nv}) + 2 \phi UBS A_{nt} F_u$	533.46 kips	>>>	249.4 kips	CUMPLE
Evitar pandeo placa de corte	$H/64$	0.23 pulg			
	tpw	0.47 pulg	>	0.23 pulg	CUMPLE
Garantizar ductilidad	$(d_b + 1/16)$	0.81 pulg			
	tpw	0.47 pulg	<<<	0.81 pulg	CUMPLE

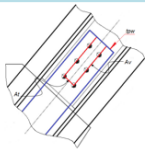


Figura 32 Verificación del bloque cortante de la placa en el alma de la viga I

También se verifica el pandeo por compresión del elemento el mismo que se presenta en la figura 33, donde se tiene un valor de 254.4 kips el mismo que es

mayor al valor de compresión en el alma de la viga I.

18.- Verificación del Pandeo por compresión de Placa conectora en alma					
Ancho de placa	$b_p =$	380 mm			When $KL/r \leq 25$ $P_n = F_y A_g$
Radio de giro	$r = t_p / \sqrt{12}$	3.46 mm			When $KL/r > 25$, the provisions of Chapter E apply.
	$k =$	0.65			
Esbeltez	$E_b = K^2(L_v + a)/r$	15.39	<<<	25	Usar $P_n = F_y A_g$
	$A_c = E_b / \pi^2 \sqrt{(F_y/E)}$	0.17			
Esfuerzo permisible en compresión	$n F_{cr} = (0.685 A_c^2)^2 F_y$	35.6 ksi			
	$A_g = b_p \times t$	7.07 pulg2			
	$\phi =$	0.90			
Compresión permisible	$C_{maxp} = \phi F_{cr} A_g$	254.4 kips	>>	249.4 kips	CUMPLE

Figura 33 Verificación del pandeo por compresión de la placa conectora en el alma de la viga.

4.8 Diseño de la placa Gusset

Una vez verificado los parámetros de diseño en el ala y alma de la viga I, se procede de la misma manera con la placa Gusset.

Se obtiene un valor de resistencia a la tracción de 1062.5 kips donde es mayor al valor de resistencia de tracción de la viga I, cumpliéndose así la condición de diseño de la placa Gusset para tracción

20.- Verificación de la Resistencia a la Tracción de Gusset					
(Según AISC 360-10 Capítulo J, Sección J4.1)					
Fluencia área bruta	$\phi =$	0.90			
	$A_g = A_w$	28.74 pulg2			
	$\phi R_n = \phi A_g F_y$	931.1 kips	>>	873.0 kips	CUMPLE
Rotura área neta	$\phi =$	0.75			
	$A_{n1} = A_g - (d_h + 1/16) n_f t_p$	27.52 pulg2			
	$A_{n2} = 0.85 A_g$	24.43 pulg2			
	$A_e = \min (A_{n1}, A_{n2})$	24.43 pulg2			
	$\phi R_n = \phi A_e F_u$	1062.5 kips	>>	873.0 kips	CUMPLE

Figura 34 Verificación de la resistencia a la tracción

Para el aplastamiento y desgarramiento se debe hacer el análisis donde se encuentran las perforaciones en la placa Gusset esto es en la conexión de los ángulos al ala de la viga y la conexión de las placas al alma de la viga, se presenta en la figura 35 que se cumple las condiciones de diseño.

21.- Verificación de la resistencia al Aplastamiento y al Desgarramiento de Gusset					
(Según AISI 360-10 Capítulo J, Sección J3.10)					
Pernos en ángulo conector					
BORDE	$\phi_v =$	0.75			
	$P_c = L_v - 0.5 \cdot (d_b + 1/16)$	1.04 pulg			
	$r_{on} = \min(1.2 L_c \text{ tp } F_u, 2.4 d_b \text{ tp } F_u)$	54.33 kips			
SEPARACION ϕ	$P_c = S - (d_b + 1/16)$	1.89 pulg			
	$r_{on} = \min(1.2 L_c \text{ tp } F_u, 2.4 d_b \text{ tp } F_u)$	98.41 kips			
	$\phi_v R_n = 2 \cdot n \cdot n^* \cdot \min(\phi_v r_{on}, \phi_v r_{on})$	814.96 kips	>>>	249.4 kips	CUMPLE
Pernos en alma					
BORDE	$\phi_v =$	0.75			
	$P_c = L_v - 0.5 \cdot (d_b + 1/16)$	1.17 pulg			
	$r_{on} = \min(1.2 L_c \text{ tp } F_u, 2.4 d_b \text{ tp } F_u)$	60.84 kips			
SEPARACION ϕ	$P_c = S - (d_b + 1/16)$	2.14 pulg			
	$r_{on} = \min(1.2 L_c \text{ tp } F_u, 2.4 d_b \text{ tp } F_u)$	78.09 kips			
	$\phi_v R_n = 2 \cdot n \cdot n^* \cdot \min(\phi_v r_{on}, \phi_v r_{on})$	912.58 kips	>>>	873.0 kips	CUMPLE

Figura 35 Verificación de la resistencia al aplastamiento y al desgarramiento

De la misma forma el bloque de cortante se debe verificar en los sitios donde se encuentran las perforaciones, se presenta en la figura 36 los dos modos de falla, para el primer caso en el alma se tiene una carga permisible de 733.55 kips y para el segundo modo de falla un valor de 1009.88 kips, los mismos que cumplen la condición de diseño.

22. Verificación del Bloque cortante en Placa Gusset					
(Según AISI 360-10 Capítulo J, Sección J4.3)					
Modo de Falla 1 (conexión en el alma)					
Área bruta en corte Área neta en corte Área neta en tensión Carga permisible	$\phi =$	0.75			
	$U_{BS} =$	1.00			
	$A_{gv} = 2(L_v + S \cdot (n-1)) \cdot t_p$	20.0 pulg ²			
	$A_v = 2(L_v + S \cdot (n-1) - (n-0.5)(d_h + 1/16)) \cdot t_p$	14.56 pulg ²			
	$A_t = (b \cdot (n-1) - (d_h + 1/16)) \cdot t_p$	9.41 pulg ²			
	$\phi R_n = \phi \min(0.6 F_y A_{gv}, 0.6 F_u A_{nv}) + \phi U_{BS} A_t F_t$	733.55 kips	>>>	249.43 kips	CUMPLE
Modo de Falla 2 (conexión en el ala)					
Área bruta en corte Área neta en corte Área neta en tensión Carga permisible	$\phi =$	0.75			
	$U_{BS} =$	1.00			
	$A_{gv} = 2(L_v + S \cdot (n-1)) \cdot t_p$	20.0 pulg ²			
	$A_v = 2(L_v + S \cdot (n-1) - (n-0.5)(d_h + 1/16)) \cdot t_p$	12.87 pulg ²			
	$A_t = (d + 2 \cdot g - n(d_h + 1/16)) \cdot t_p$	15.76 pulg ²			
	$\phi R_n = \phi \min(0.6 F_y A_{gv}, 0.6 F_u A_{nv}) + \phi U_{BS} A_t F_t$	1009.88 kips	>>>	872.99 kips	CUMPLE

Figura 36 Verificación del bloque de corte en la placa Gusset

Por último se determinan las dimensiones de la placa Gusset, esto se lo hace mediante el método de Fuerza Uniforme, en el programa se debe ingresar la longitud vertical y horizontal de la placa Gusset y en base a estas longitudes el programa verificará si cumple las condiciones de diseño.

En la figura 37 para una longitud vertical de 1000 mm se tiene una resistencia de 897.2 kips, de la misma forma para una longitud vertical de 700 mm se tiene una resistencia de 628.1 kips, las cuales cumplen con la condición de diseño, siendo mayores a la resistencia de compresión y tensión de la viga I.

24.- Soldadura de cartela a columna					
Filete de soldadura a usar	W =	13 mm			
Ruptura por tensión electrodo	F_{EXX}	4920.00Kg/cm ²	<>	69.96 kips/in ²	
Espesor efectivo de soldadura	$D = 0.707 \cdot W$	9.191 mm	<>	0.362 pulg	
Carga	P =	861.3 kips			
Longitud requerida	LV =	1000 mm	<>	39.4 pulg	
Ángulo de pendiente de carga	$\theta =$	0.0 °			
Resistencia del metal de rellano	$F_{nw} = 0.60 F_{EXX} 1.0 + 0.50 \text{ seno } \theta$	41.99			
	$\phi P_n =$	897.2 kips	>>>	861.3 kips	CUMPLE
25.- Soldadura de cartela a viga					
Filete de soldadura a usar	W =	13 mm			
Ruptura por tensión electrodo	F_{EXX}	4920.00Kg/cm ²	<>	69.98 kips/in ²	
Espesor efectivo de soldadura	$D = 0.707 \cdot W$	9.191 mm	<>	0.362 pulg	
Carga	P =	603.1 kips			
Longitud requerida	LH =	700 mm	<>	27.6 pulg	
Ángulo de pendiente de carga	$\theta =$	0.0 °			
Resistencia del metal de rellano	$F_{nw} = 0.60 F_{EXX} 1.0 + 0.50 \text{ seno } \theta$	41.99			
	$\phi P_n =$	628.1 kips	>>>	603.1 kips	CUMPLE

Figura 37 Cálculo de parámetros del método de fuerza uniforme

5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Este trabajo es un complemento al artículo titulado: “Protocolo de instalación de disipadores de energía Shear Link Bozzo” (Aguiar *et al.*, 2016,6) en que se describe la forma como se debe construir los Bloques Estructurales de la UFA-ESPE que tienen disipadores SLB40_3.

En el mencionado artículo se habló muy poco sobre el diseño de las Placas Gusset por lo que se decidió escribir este artículo en que se amplía el marco teórico y se hizo más amigable el programa desarrollado por el segundo de los autores de este artículo en Excel. De esta forma se aspira haber aportado al desarrollo práctico sobre diseño de placas Gusset

REFERENCIAS

1. Aguiar Roberto, Pazmiño Esteban, (2016,1), “Detalles constructivos debido a los aisladores sísmicos en las construcciones de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, en Ecuador”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21 (2)**, 217-256. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
2. Aguiar Roberto, Arias M., Pachacama G., Iza Evelyn, (2016,2), “Respuesta en el tiempo del Bloque Estructural 3 con aisladores FPT de UFA-ESPE ante sismos interplaca tipo thrust”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21 (2)**, 151-202, Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
3. Aguiar Roberto, Morales Enrique, (2016,3), “Desempeño del aislador FPT8833/12-12/8-6 empleado en la construcción del Centro de Investigaciones de UFA-ESPE mediante análisis no lineal”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21 (1)**, 79-104. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
4. Aguiar Roberto, Bozzo Luis, Coyago Henry, Andino Cristina, (2016,4),

- “Análisis sísmico de Bloque Estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo”, *Revista Ciencia*, **18 (2)**, 123-160. Disponible en: http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec
5. Aguiar Roberto, Llerena Erika, Jiménez Luis, (2016,5), “Análisis sísmico de Auditorio de UFA-ESPE con vigas San Andrés y Disipadores de Energía Shear Link Bozzo” *Revista Ciencia*, **18 (2)**, 173-200. Disponible en: http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec
 6. Aguiar Roberto, Mora David, Bozzo Luis, Silva Hugo, Caiza Pablo, Coyago Henry, (2016,6), “Protocolo de instalación de disipadores Shear Link Bozzo SLB40_3 y Placas Gusset en Bloque Estructural 4 de UFA-ESPE”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21 (2)**, 127-150. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
 7. AISC (2005), *Steel construction manual*, 14th, Edition, 2131 p.
 8. AISC (2010), *Especificaciones ANSI/AISC 360-10 para construcciones de acero*. Asociación Latinoamericana del acero Alacero, 318 p., Santiago de Chile.
 9. Dowswell, B. (2011). *Connection Design For Steel Structures*, Structural Design Solutions.
 10. Kotulka, B. A. (2007). *Analysis for a design guide on Gusset Plates used in Special Concentrically Braced Frames*. University of Washington.
 11. NEC-15 (2015) Norma Ecuatoriana de la Construcción, SE-DS, Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente. 138 p. Quito.
 12. Silva Hugo (2016) *Memoria de cálculo-conexión a tracción diagonal-columna*, Memoria de diseño de placa Gusset, 10 p.